

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-281016

(43) 公開日 平成7年(1995)10月27日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B	5/18			
	6/00	3 0 1		
	6/13			
			G 0 2 B	6/12
				M
				N
審査請求	未請求	請求項の数 1 8	OL	(全 8 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平7-26605

(22) 出願日 平成7年(1995)2月15日

(31) 優先権主張番号 特願平6-20487

(32) 優先日 平6(1994)2月17日

(33) 優先権主張国 日本(JP)

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 稲井 麻紀

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 伊藤 真澄

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 井上 享

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

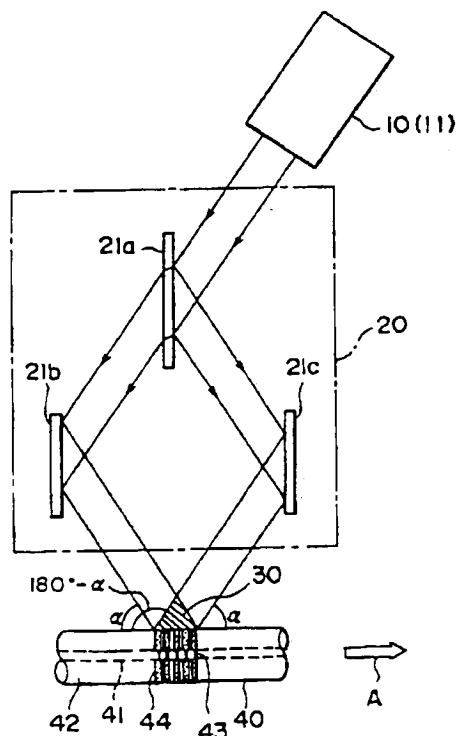
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路、その導波路部材、及びその製造方法

(57) 【要約】

【目的】 反射率の受文大きな回折格子を有する光導波路、該光導波路を得るための導波路部材及び製造方法を提供する。

【構成】 コア及びクラッドに酸化ゲルマニウムが添加された導波路部材を用い、この導波路部材の所定部位に紫外光の干渉縞を照射することで該所定部位におけるコア及びクラッドに所望の回折格子が形成された光導波路を得る。これにより、この発明に係る光導波路はモードフィールド全域にわたって導波光を反射し、高い反射率を有する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 所定の屈折率を有する光導波領域としてのコアと、該コアよりも低い屈折率を有し、かつ該コアを密着して覆っているクラッドを備えた光導波路において、

前記光導波路の所定部位におけるコア及びクラッドには、それぞれ、光の伝搬方向に沿って周期的にその屈折率が変化した回折格子が形成されていることを特徴とする光導波路。

【請求項 2】 前記コア及び前記クラッドは、いずれも酸化ゲルマニウムが添加された石英ガラスであることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路。

【請求項 3】 前記コアは、所定濃度の酸化ゲルマニウムが添加され、前記クラッドは、該コアよりも低濃度の酸化ゲルマニウムが添加されていることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路。

【請求項 4】 前記コアは、酸化ゲルマニウムが添加され、前記クラッドは、該酸化ゲルマニウムとともに屈折率低下剤が添加されていることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路。

【請求項 5】 前記屈折率低下剤は、酸化ボロンあるいはフッ素のいずれかであることを特徴とする請求項 4 記載の光導波路。

【請求項 6】 所定の屈折率を有する光導波領域であって、所定濃度の酸化ゲルマニウムが添加されたコアと、前記コアよりも低い屈折率を有し、かつ該コアを密着して覆っている領域であって、所定濃度の酸化ゲルマニウムが添加されたクラッドを備えた導波路部材。

【請求項 7】 前記コア及びクラッドは、いずれも石英ガラスであることを特徴とする請求項 6 記載の導波路部材。

【請求項 8】 前記コアに添加された酸化ゲルマニウムの濃度は、前記クラッドに添加された酸化ゲルマニウムの濃度よりも高く設定されていることを特徴とする請求項 6 記載の導波路部材。

【請求項 9】 前記クラッドは、酸化ゲルマニウムとともに屈折率低下剤が添加されていることを特徴とする請求項 6 記載の導波路部材。

【請求項 10】 前記屈折率低下剤は、酸化ボロンあるいはフッ素のいずれかであることを特徴とする請求項 9 記載の導波路部材。

【請求項 11】 所定の屈折率を有する光導波領域であって、所定濃度の酸化ゲルマニウムが添加されたコアと、前記コアよりも低い屈折率を有し、かつ該コアを密着して覆っている領域であって、所定濃度の酸化ゲルマニウムが添加されたクラッドとを備えた導波路部材の所定部位に対し、紫外光を照射して前記導波路部材の所定部位におけるコア及びクラッドそれぞれの屈折率を変化させる光導波路の製造方法。

【請求項 12】 前記クラッドは、酸化ゲルマニウムとともに屈折率低下剤が添加されていることを特徴とする請求項 11 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 13】 前記屈折率低下剤は、酸化ボロンあるいはフッ素のいずれかであることを特徴とする請求項 12 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 14】 前記導波路部材の所定部位に照射される紫外光を干渉させ、干渉縞を形成させることを特徴とする請求項 11 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 15】 前記紫外光を 2 本のコヒーレント光とし、該 2 本のコヒーレントな紫外光を、前記導波路部材の光軸に対し互いに補角の関係にある角度をもって、前記導波路部材の所定部位に照射することを特徴とする請求項 14 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 16】 前記紫外光を、所定形状の透過窓を有するマスクを介して、前記導波路部材の所定部位に照射することを特徴とする請求項 11 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 17】 前記紫外光を、移動している前記導波路部材に照射することを特徴とする請求項 11 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 18】 前記干渉縞は、前記紫外光を所定の格子間隔を有する位相格子に照射し、この位相格子を透過させることにより生じさせることを特徴とする請求項 14 記載の光導波路の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は、光ファイバ、薄膜導波路等の光導波路に関し、特に、所定部位に周期的にその屈折率を変化させて回折格子を作り込むための導波路部材、該回折格子が作り込まれた光導波路、及びその製造方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 光学部品的一种として回折格子が作り込まれたものには種々の態様のものがあるが、光通信システム等に利用する場合には、特に、他の光導波路との接続が容易で、かつ挿入損失を低くするために回折格子が作り込まれた光導波路型のものが好適である。

【0003】 また、回折格子を有する光導波路の従来の製造方法としては、例えば特開昭 62-500052 号公報に記載のものが知られている。これは、酸化ゲルマニウムを添加して高屈折率のコアを形成した石英系光ファイバに強力な紫外光を照射することにより、コアに周期的な屈折率変化を生じさせ、回折格子を形成する方法である。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上述の製造方法では、得られる回折格子の反射率は必ずしも十分でない。すなわち、回折格子が作り込まれた光導波路では、その反射率が重要な特性であるが、この反射率は

以下の式(1)のように、回折格子長(コア内において、屈折率が周期的に変化している領域の長さ)と光誘起屈折率変化に依存する。

【0005】

$$R = \tanh^2 (L \cdot \pi \cdot \Delta n_{uv} / \lambda) \quad \cdots (1)$$

ここで、Rは反射率、Lはコア内に作り込まれた回折格子長、 $\Delta n_{uv}$ は紫外光に対する屈折率変化(光誘起屈折率変化)、 $\lambda$ は反射波長である。

【0006】紫外光照射による屈折率変化はガラス中のゲルマニウム関連のガラス欠陥に起因することが知られているが、従来のように通信用光ファイバを用いたのではクラッド部分でのガラス欠陥が少ないために、この部分における紫外光による屈折率変化 $\Delta n_{uv}$ はコアでの屈折率変化 $\Delta n_{uv}$ に比べて小さい。したがって、導波路全体として十分な反射率が得られないという課題があった。

【0007】さらに、紫外光が照射されると、その部位のコア(回折格子が作り込まれた部位)の屈折率は高くなるため、この部位のモードフィールド径は他の紫外光が照射されていないコアのモードフィールド径より小さくなる。このモードフィールド径の変化がコア内に生じると、モードミスマッチによりコア内を伝搬している光がクラッド側へ放射され、伝送損失が増加するという課題がある。

【0008】この発明は以上のような課題を解決するためになされたもので、反射率の十分大きな回折格子を有する光導波路を実現するとともに、この光導波路を容易に製造するための方法を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】この発明に係る光導波路は、光導波部であるコアと、このコアよりも低屈折率であって、このコアを密着して覆っているクラッドとを有し、その所定部位のコア及びクラッドのそれぞれに、回折格子として周期的に屈折率が変化した屈折率変化部が形成されていることを特徴としている。なお、この屈折率変化部は1つには限定されず、光の伝搬方向に沿って、所定の間隔をおいて複数形成してもよい。

【0010】特に、この回折格子がコア及びクラッドの両方に作り込まれる導波路部材には、いずれの領域にも酸化ゲルマニウムが予め添加され、主にガラス材料からなる光導波路を利用するが、この導波路部材には石英( $\text{SiO}_2$ )を主成分とする石英ガラス導波路や、該石英を主体にして、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 等を加えたガラスからなる多成分ガラス導波路が含まれる。また、導波路とは、コアとクラッドとの屈折率差を利用して光を一定領域に閉じ込めて伝送する回路または線路をいい、これには光ファイバや薄膜導波路等が含まれる。

【0011】また、導波路として機能するためにはクラッドの屈折率をコアの屈折率よりも低くする必要があるが、その態様としては、例えば、クラッドへ添加する酸

化ゲルマニウムの濃度をコアへ添加する酸化ゲルマニウムの濃度よりも低く設定する場合(1)、コアに添加する酸化ゲルマニウムの濃度がクラッドに添加する酸化ゲルマニウムの濃度と等しいか、あるいはそれよりも高い場合であってもさらに屈折率低下剤を添加する場合

(2)がある。ここで、屈折率低下剤としては、例えば酸化ボロンやフッ素が一般的である。

【0012】次に、この発明に係る回折格子を有する光導波路の製造方法は、酸化ゲルマニウムがドーブされたコアと、酸化ゲルマニウムがドーブされ、コアよりも低屈折率のクラッドとを備えるガラス導波路部材を用意し、このガラス導波路部材の所定部位(コア及びクラッドの両方を含む領域)に対して紫外光を照射し、この所定部位の屈折率を変化させることを特徴としている。

【0013】上記導波路部材の所定部位に回折格子を作り込むためには、この所定部位において上記紫外光の干渉縞を生じさせる必要がある。この方法としては、例えば、上記紫外光を2本のコヒーレント光とし、この2本のコヒーレントな紫外光を、ガラス導波部材におけるコアの光軸に対し互いに補角の関係にある角度をもって照射することにより干渉縞を生じさせてもよい。また、上記紫外光を位相格子に照射し、この位相格子を透過させることにより干渉縞を生じさせてもよい。

【0014】また、上記導波路部材として、集積かされた複数の光導波領域(コア)を有する場合には、光透過用窓を有するマスク、さらには所定の光学系を利用し、上記紫外光の透過を制限することにより、回折格子の微細加工に応用することもできる。

【0015】さらに、当該製造方法は、上記導波路部材が移動している場合、例えば光ファイバの線引工程においても適用することができる。

【0016】

【作用】この発明における光導波路は、コアの回折格子が作り込まれた所定部位(屈折率変化部)のみならず、この部位を密着して覆うクラッドにも回折格子が作り込まれている。すなわち、この部位では光導波路のコアを伝搬する導波光のみならず、導波光のうち導波中にクラッドへ放射される光も反射され、モードフィールド全域にわたって導波光が反射される構造となっている。それゆえ、この発明における光導波路は高い反射率を有する。

【0017】なお、上記導波光のうちクラッドへ放射される光は、コアからわずかにクラッド側へ漏出しているだけなので、クラッドにおける屈折率変化部がコアとクラッドとの境界面付近にのみ存在する場合でも、十分に高い反射率を有する。

【0018】一方、屈折率の変化量を大きくするためには、上述したガラス欠陥を増やすことが重要である。それにはコアにおける酸化ゲルマニウムの添加濃度を増やすことが効果的であるが、この場合、コアの紫外光照射

領域における紫外光照射前後の屈折率の変化量が非常に大きくなると、同一コア内における各領域でのモードミスマッチによる伝送損失が問題となる。

【0019】すなわち、コア内の紫外光が照射された部位では屈折率が高くなりモードフィールド径は小さくなるが、他の紫外光照射がなされていない部位でのモードフィールド径は変化しない。このように同一コア内でモードフィールド径の変化が生じると、コア内を伝搬している導波光のクラッドへの放射が生じ、伝送損失が増加するという結果を招く。

【0020】この発明における回折格子を有する光導波路は、コア及びクラッドのそれぞれに酸化ゲルマニウムが添加されており、紫外光が照射されればいずれの領域にも屈折率変化が生じるため、コア及びクラッド間の屈折率差に実質的な変化を生じない構造を備えている。したがって、紫外光照射前後で光の伝搬方向にモードフィールド径の周期的な変化が生じることはなく、上述のモードミスマッチによる伝送損失（導波光がクラッド側へ放射されることにより生じる伝送損失）は回避される。

【0021】次に、この発明における回折格子を有する光導波路の製造方法は、酸化ゲルマニウムがドーブされたコアと、酸化ゲルマニウムがドーブされ、コアよりも低屈折率のクラッドとを備えるガラス導波路部材を用意し、このガラス導波路部材の所定部位（コア及びクラッドの両方を含む領域）に対して紫外光を照射し、この所定部位の屈折率を変化させる。また、この製造方法は、回折格子を作り込む導波路部材として集積化して複数のコアが形成された光導波路型の光機能部品や、光ファイバの製造工程への適用も想定している。

【0022】ここで、紫外光の入射によりガラスの屈折率が変化するメカニズムは、完全には解明されていない。しかしながら、重要な原因として、ガラス中のゲルマニウムに関連した酸素欠損型の欠陥が考えられており、 $\text{Si-Ge}$ または $\text{Ge-Ge}$ などの中性酸素モノ空孔が想定されている。

【0023】屈折率変化のメカニズムとして提案されているクラマース・クローニッヒ機構によれば、屈折率変化は以下のように説明される。すなわち、上記の欠陥は波長240～250 nmの紫外光を吸収する。そして、この吸収により $\text{Si-Ge}$ または $\text{Ge-Ge}$ 結合が切れることに起因して、新たな欠陥が生じる。この新たな欠陥は、波長210 nmおよび280 nm付近を中心に吸収帯を形成する。その結果、クラマース・クローニッヒの関係に従いガラスの屈折率が変化する。

【0024】本発明の作製方法では、コア及びクラッドの双方に酸化ゲルマニウムがドーブされた光導波路を第一の工程で用意し、これに紫外光を入射させるので、コア及びクラッドの双方において紫外光が入射した部分の屈折率が変化する。したがって、本発明の方法により製造される光導波路は、光軸方向に沿って複数の屈折率変

化部が配列された回折格子領域を、コアのみならずクラッドにおいても有している。

【0025】

【実施例】以下、添付図面を参照しながらこの発明の実施例を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0026】第1の実施例について説明する。本実施例では、まず、回折格子形成に用いる導波路部材として、石英( $\text{SiO}_2$ )ガラスを主成分とする石英系光ファイバを用意した。この光ファイバは、石英ガラスに20 wt %の酸化ゲルマニウム( $\text{GeO}_2$ )が添加されたコアと、石英ガラスに10 wt %の酸化ゲルマニウム及び20 wt %の酸化ボロン( $\text{B}_2\text{O}_3$ )が添加されたクラッドとを備えている。ここで、酸化ゲルマニウムは屈折率を高めるための添加物であり、酸化ボロンは屈折率を低下させるための添加物である。

【0027】なお、20 wt %の酸化ゲルマニウムが添加された石英ガラスと純粋な石英ガラスとの間の比屈折率差は、1.5 %であり、10 wt %の酸化ゲルマニウム及び20 wt %の酸化ボロンが添加された石英ガラスと純粋な石英ガラスとの間の比屈折率差は、0.5 %である。

【0028】この回折格子を作り込むための光ファイバ（導波路部材）は、いかなる製造方法により製造されたものであっても良い。例えば、公知のMCVD法、VAD法、OVD法、ロッドインチューブ法等により製造された光ファイバ母材を、電気炉で加熱して線引きすることにより製造できる。

【0029】例えばVAD法では、まず、回転している中心棒をターゲットとし、その上に火炎中で生成した $\text{SiO}_2$ と $\text{GeO}_2$ のガラス微粒子を堆積させて、スートプリフォームを形成する。具体的には、コア用バーナーに原料となる四塩化ケイ素( $\text{SiCl}_4$ )及び四塩化ゲルマニウム( $\text{GeCl}_4$ )、燃料となる水素、並びに酸素（以上は、すべて気体である。）を同時に送り込む。一方、クラッド用バーナーには、上記気体に加えてさらに臭化ボロン( $\text{BBr}_3$ )を送り込む。そして、水素の燃焼による各バーナーの火炎を中心棒にあてて、スートプリフォームを形成する。

【0030】次いで、形成されたスートプリフォームを高温で完全脱水して不純物を飛散させてから、さらに温度を上げて焼結する。以上でプリフォーム（光ファイバ母材）が完成するので、線引炉でさらに高温にして溶かし、線引きすれば光ファイバが得られる。

【0031】次に、上述したように公知方法により製造された光ファイバに紫外光を照射する。ここで、紫外光の照射は、所望の長さに切り取った光ファイバに対して行ってもよいし、線引された光ファイバを巻き取る途中に行うなど、光ファイバの製造工程に組み込んで行って

もよい。

【0032】本実施例では、等ピッチの回折格子を光ファイバ内に形成することとし、このために、等間隔の干渉縞を生じさせながら紫外光を光ファイバに照射した。以下、紫外光の照射方法について詳しく説明する。

【0033】図1は、照射方法を説明するための図である。図1に示されるように、紫外光光源10から出力された紫外光は、所定の光学系として干渉手段20により干渉させられ、干渉縞を生じながら光ファイバ40に照射される。なお、この光学系はレンズを備えてもよい。

【0034】本実施例では、ホログラフィック干渉法により2本のコヒーレントな紫外光を干渉させた。この方法では、干渉手段20は、図1のように、ビームスプリッタ21aと反射鏡21b、21cとから構成される。また、紫外光光源10には、アルゴンレーザ光源11を用いた。

【0035】アルゴンレーザ光源11は、244nmのコヒーレントな紫外光を連続発振する。この紫外光は、ビームスプリッタ21aにより透過光と反射光の2光束に分岐される。分岐された各光束は、それぞれ反射鏡21b及び21cによって反射され、コア41の軸方向に

対し互いに補角の関係にある $74^\circ$ （図1における $\alpha$ ）、 $106^\circ$ （図1における $180^\circ - \alpha$ ）の角度をもって光ファイバに照射される。

【0036】分岐された各光束は干渉領域30にて干渉し、所定間隔の干渉縞を形成しつつ、光ファイバ40に照射される。照射された紫外光は、コア41及びクラッド42に入射して、入射部の屈折率を変化させる。

【0037】図2は、光ファイバ40への紫外光の照射を示した図である。光ファイバ40の径方向に対する紫外光の入射角度 $\theta$ （ $=90^\circ - \alpha$ ）と紫外光の波長 $\lambda$ とを用いると、干渉縞の間隔 $\Lambda$ は、
$$\Lambda = \lambda / (2 \sin \theta) \quad \dots (2)$$
のように表される。したがって、コア41及びクラッド42の紫外光が入射した領域には、屈折率の変化した部分が干渉縞の間隔 $\Lambda$ を周期として光ファイバ40の光軸方向に沿って配列されるので、ピッチ $\Lambda$ の回折格子43、44が、それぞれコア41、クラッド42に形成されることになる。こうして、コア41及びクラッド42に回折格子を有する光導波路としての光ファイバが得られた。

【0038】コア41の屈折率 $n$ と回折格子43のピッチ $\Lambda$ を用いると、周知なブラッグの回折条件により、この回折格子の反射波長 $\lambda_R$ は、

$$\begin{aligned} \lambda_R &= 2n\Lambda \\ &= \lambda n / \sin \theta \quad \dots (3) \end{aligned}$$

のように表される。なお、本実施例では、この反射波長 $\lambda_R$ を1300nmに設定した。

【0039】上記式(2)によれば、クラッド42の屈折率とコア41の屈折率は異なるので、クラッド42に

形成された回折格子44の反射波長は1300nmからずれるが、屈折率の差は大きくないのでずれ量は大きくない。そして、回折格子の反射スペクトルは反射波長を中心に広がりを持つので、回折格子44は反射波長に近い1300nmの光を十分に反射する。

【0040】上述の製造方法による紫外光の照射中は、LED光源からの光を光ファイバの一端から入射させ、他端に接続されたスペクトルアナライザによりこの光の透過スペクトルを測定することにより、回折格子の形成をリアルタイムでモニターした。ここで、スペクトルアナライザは、回折格子43、44を透過した光について波長と光強度との関係を検出する。

【0041】紫外光の照射が開始されると回折格子43、44の形成が進むので、透過スペクトルにおいて透過光の強度が反射波長を中心に減少する。透過スペクトルに変化がなくなれば、回折格子43、44の形成が飽和したと考えられるので、この時点で紫外光の照射を停止する。なお、本実施例では、飽和時間は約40～50分であった。

【0042】回折格子43、44の形成が飽和した時点の透過スペクトルから、反射波長に対する反射率を算出することができる。これによると、回折格子が作り込まれた上記光ファイバの反射率は約75%であり、良好な結果を得た。

【0043】なお、上記実施例ではホログラフィック干渉法を用いて紫外光の干渉縞を形成したが、代わりに位相格子法を用いることもできる。

【0044】図3は、位相格子法を説明するための図である。まず、導波路部材としての光ファイバ40に干渉手段20たる位相格子22を密着固定する。位相格子22には、等間隔で溝を形成した石英板を用いることができる。位相格子22の溝は、リソグラフィーと化学エッチングにより形成できるため、格子間隔は自由に選択でき、複雑な形状も可能である。

【0045】次に、例えばKrFエキシマレーザ光源12（紫外光光源10）をパルス光源として用い、波長248nmの所定強度の紫外域パルス光を所定の周波数で出力させ、図のように位相格子の上面から所定時間照射する。なお、紫外光は連続発振させてもよい。

【0046】紫外光が位相格子22を透過すると、所定間隔の干渉縞が形成され、干渉縞を形成したままコア41及びクラッド42に入射するので、周期的な屈折率変化、すなわち回折格子43、44がそれぞれコア41、クラッド42に生じる。こうして、コア41及びクラッド42の双方に回折格子が作り込まれた光導波路としての光ファイバが得られた。

【0047】次に、第2の実施例について説明する。本実施例では、回折格子を作り込むための光ファイバとして、石英ガラスに20wt%の酸化ゲルマニウムが添加されたコアと、石英ガラスに10wt%の酸化ゲルマニ

ウム及び10wt%のフッ素(F)が添加されたクラッドを備えるものを用意した。

【0048】なお、20wt%の酸化ゲルマニウムが添加された石英ガラスと純粋な石英ガラスとの間の比屈折率差は、1.5%であり、10wt%の酸化ゲルマニウム及び10wt%のフッ素が添加された石英ガラスと純粋な石英ガラスとの間の比屈折率差は、0.1%である。

【0049】この光ファイバに、第1実施例と同様にして回折格子を書き込み、反射波長1300nmの回折格子を有する光ファイバを製造した。第1実施例と同様に反射率を測定したところ、反射率約75%と良好な結果を得た。

【0050】さらに本発明者らは、第1、第2実施例との比較のため、コアにのみ回折格子が書き込まれた光導波路としての光ファイバを製造した。用意した導波路部材としての光ファイバとしては、石英ガラスに20wt%の酸化ゲルマニウムが添加されたコアと、純石英ガラスからなるクラッドを備えるものを用意した。なお、比屈折率差は1.5%であった。

【0051】この光ファイバを用い、第1、第2実施例と同様に反射波長1300nmの回折格子を有する光ファイバを製造し、実施例と同様に反射率を測定したところ、反射率は約50%であり、実施例より劣っていた。

【0052】なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、様々な変形が可能である。例えば、光導波路は光ファイバに限られず、薄膜導波路であってもよい。また、紫外光の照射方法は、上記実施例の以外にも種々の方法が可能であり、例えば、光導波路を図1の矢印Aで示された光軸方向に沿って移動させながら紫外域パルス光を照射しても回折格子を作り込むことができる。

【0053】また、図4に示すように、導波路部材が集積化された複数のコアを有する場合には、紫外光(UV)の照射領域を制限するように所定形状の窓201を有するマスク200を利用して、導波路部材の所定部位に回折格子を作り込んでもよい。なお、図4に示した導波路部材は導波路基板100上に複数のコア101を所定形状に整形し、さらにこのコア101をクラッド102で覆った光合分波機能を有する光機能部品である。

【0054】次に、上述したモードミスマッチによる伝送損失の本発明における影響について第3の実施例を示して説明する。本実施例では、回折格子を作り込むための光ファイバとして、石英ガラスに40wt%の酸化ゲルマニウムが添加されたコアと、石英ガラスに30wt%の酸化ゲルマニウム及び20wt%の酸化ボロン(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)が添加されたクラッドを備えるものを用意した。

【0055】なお、40wt%の酸化ゲルマニウムが添加された石英ガラスと純粋な石英ガラスとの間の比屈折

率差は、2.9%であり、30wt%の酸化ゲルマニウム及び20wt%の酸化ボロン(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)が添加された石英ガラスと純粋な石英ガラスとの間の比屈折率差は、2.0%である。また、この光ファイバには光反応性を高めるために水素処理を施した。

【0056】この光ファイバに、第1実施例と同様にして回折格子を書き込み、反射波長1300nmの回折格子を有する光ファイバを製造した。第1実施例と同様に反射率を測定したところ、その反射率は約99.9%であり、伝送損失は約0.1dBという結果を得た。

【0057】さらに本発明者らは、この第3実施例との比較のため、40wt%の酸化ゲルマニウムが添加されたコアと、純石英ガラスからなるクラッドを備えるものを用意した。なお、40wt%の酸化ゲルマニウムが添加されたコアと純石英ガラスとの比屈折率差は2.9%であった。

【0058】この光ファイバを用い、第1～第3実施例と同様に反射波長1300nmの回折格子を有する光ファイバを製造し、実施例と同様に反射率を測定したところ、その反射率は約98%であったが、伝送損失は0.4dBであり、第3実施例よりも伝送損失が増加する結果を得た。この伝送損失の増加は、前述したモードミスマッチによりコア内を伝搬している導波光がクラッド側に放射されたためであると考えられる。

【0059】次に、この発明に係る導波路部材の不純物プロファイルを図5及至図7を用いて説明する。

【0060】この発明に係る導波路部材は、コア及びクラッドの両方に酸化ゲルマニウムが添加されているが、一般にこの酸化ゲルマニウムはコア内の屈折率を高くするための材料として知られている。したがって、光導波路として機能させるためには、コアよりもクラッドの酸化ゲルマニウムの添加濃度を低く設定する、あるいはクラッドに屈折率を低下させる屈折率低下剤(例えば、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、F等)をさらに加える等、添加物濃度の調整を行わなければならない。

【0061】図5は、第1の態様としてクラッドの酸化ゲルマニウムの添加濃度よりもコアの酸化ゲルマニウムの添加濃度を高く設定する例である。図6は、図5に示したような濃度分布の酸化ゲルマニウムとともに、屈折率低下剤として酸化ボロンをクラッドのみに添加する第2の態様を示した例である。さらに、図7は、コア及びクラッドにおける酸化ゲルマニウムの濃度を同じに設定し、さらにクラッドのみに屈折率低下剤として酸化ボロンを添加する第3の態様を示した例である。なお、この発明ではコア及びクラッドの各領域において各添加物の添加濃度は一定の方がよい。

【0062】

【発明の効果】以上のようにこの発明によれば、コア及びクラッドの双方に回折格子が形成されるので、この回折格子が形成された領域ではコアを伝搬する導波光のみ

ならず、導波光のうちクラッド側へ放射される光も反射され、モードフィールド全域にわたって導波光が反射される。したがって、この発明に係る回折格子を有する光導波路は高い反射率を有する。

【0063】また、この発明に係る回折格子を有する光導波路の製造方法では、コア及びクラッドの双方に酸化ゲルマニウムが添加された導波路部材の所定部位に紫外光を入射させるので、得られる光導波路にはコア及びクラッドの双方において回折格子が作り込まれる。この回折格子が形成された領域ではコアを伝搬する導波光のみならず、導波光のうちクラッド側へ放射される光も反射され、モードフィールド全域にわたって導波光が反射されるので、従来の光導波路と比べ高い反射率を有する。したがって、この発明の製造方法によれば、反射率の十分大きな光導波路型回折格子を容易に作製することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施例として、紫外光の照射方法及び得られた光導波路の構造を説明するための図である。

【図2】紫外光の照射方法として、ホログラフィック干渉法による光ファイバ（導波路部材）への紫外光を照射

を示した図である。

【図3】紫外光の照射方法として、位相格子法による光ファイバ（導波路部材）への紫外光照射を示した図である。

【図4】紫外光の照射方法として、マスクを利用して照射領域を制限する実施例を示した図である。

【図5】導波路部材における不純物プロファイルの第1の態様として、酸化ゲルマニウムの添加濃度を示す図である。

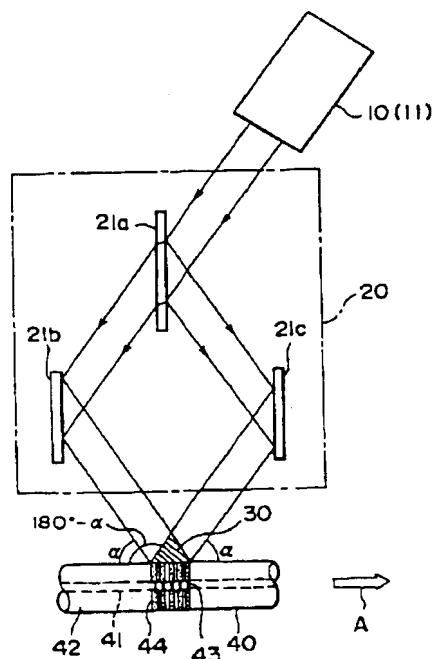
【図6】導波路部材における不純物プロファイルの第2の態様として、酸化ゲルマニウム及び屈折率低下剤（酸化ボロン）の添加濃度を示す図である。

【図7】導波路部材における不純物プロファイルの第3の態様として、酸化ゲルマニウム及び屈折率低下剤（酸化ボロン）の添加濃度を示す図である。

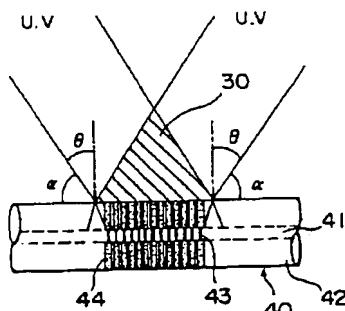
【符号の説明】

10…紫外光光源、20…干渉手段、21a…ビームスプリッタ、21b、21c…反射鏡、22…位相格子、30…干渉領域、40…光ファイバ、41…コア、42…クラッド、43、44…回折格子、200…マスク。

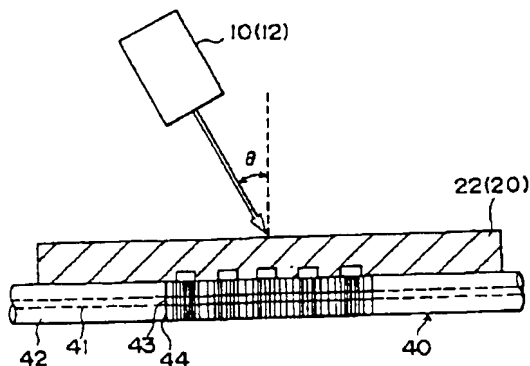
【図1】



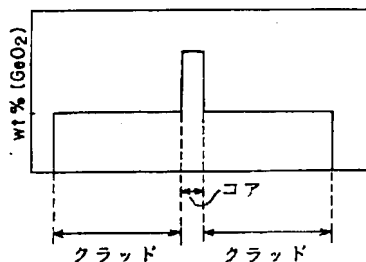
【図2】



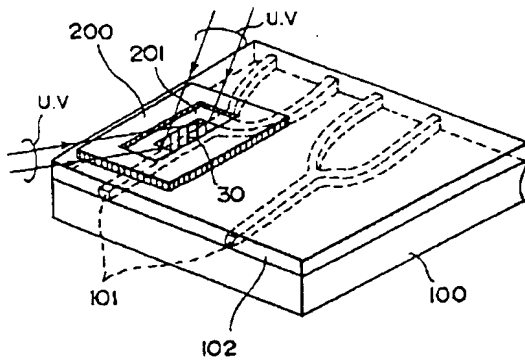
【図3】



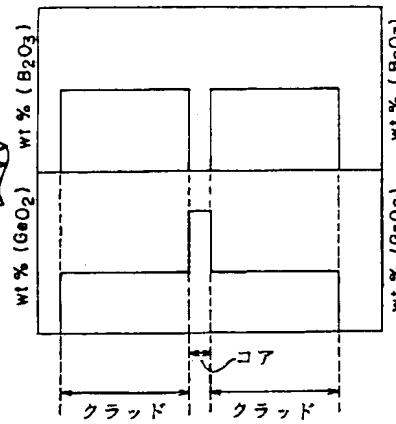
【図5】



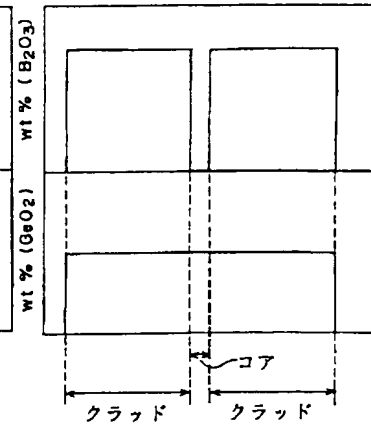
【図 4】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

G 0 2 B 6/12  
6/122  
6/293

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 B 6/12  
6/28

A  
D

(72) 発明者 茂原 政一

神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電  
気工業株式会社横浜製作所内